

Заключение диссертационного совета

Д 212.278.01 на базе ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 11 декабря 2020г. № 14

О присуждении Бунакову Никите Андреевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Особенности микроструктуры и физико-механических свойств композиционного материала на основе алюминия с углеродными нанотрубками, полученного с использованием искро-плазменного спекания» по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния» принята к защите 2 октября 2020 года, (протокол заседания № 13) диссертационным советом Д 212.278.01, созданным на базе ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 432970, Российская Федерация, г. Ульяновск, ул. Льва Толстого, д. 42, утвержденного приказом Федеральной службы по надзору в сфере образования и науки (Рособрнадзор) Министерства образования и науки Российской Федерации № 105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель Бунаков Никита Андреевич, 1991 года рождения, в 2013 г. окончил ФГБОУ ВПО «Ульяновский государственный университет» по специальности «математика»; в 2017 г. окончил аспирантуру очной формы обучения ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет» по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Бунаков Н.А. работает в должности заместителя начальника лаборатории материаловедения Научно-исследовательского технологического института им. С.П. Капицы в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Ульяновский государственный университет».

Диссертация выполнена на кафедре физического материаловедения Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения

высшего образования «Ульяновский государственный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – Голованов Виктор Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет», кафедра физического материаловедения, заведующий кафедрой, и.о. проректора по научной работе и информационным технологиям.

Официальные оппоненты:

1. Толочко Олег Викторович - доктор технических наук, профессор Высшей школы физики и технологий материалов, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»;

2. Кокорин Валерий Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Материаловедение и обработка металлов давлением», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный технический университет»,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Акционерное общество «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А.А. Бочвара (ВНИИНМ)», в своем положительном заключении, подписанном М.В. Леонтьевой-Смирновой, кандидатом технических наук, начальником отдела конструкционных материалов и изделий АО «ВНИИНМ» и М.В. Поздеевым, кандидатом экономических наук, ученым секретарем АО «ВНИИНМ», и утвержденном Л.А. Карпюк, генеральным директором АО «ВНИИНМ» указала, что диссертационная работа Н.А. Бунакова является законченным научным трудом, в котором прецизионно исследованы особенности микроструктуры и физико-механических свойств композиционного материала на основе алюминия с углеродными нанотрубками.

Ведущая организация указала, что диссертация соответствует паспорту специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния», отвечает всем требованиям ВАК, а ее автор, Бунаков Никита Андреевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук.

Соискатель имеет 14 опубликованных работ по теме диссертации, в том числе 2 в рецензируемых журналах, рекомендуемых ВАК РФ (по специаль-

ности 01.04.07 (технические науки)), 1 статья, входящая в международную базу Scopus (по специальности 01.04.07 (технические науки)), 6 работ в прочих изданиях и 5 тезисов докладов на российских и международных конференциях. Опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации. Общий объем работ по теме диссертации – 4,75 печатного листа, вклад соискателя – не менее 70%.

Основные работы:

1. Bunakov N.A., Kozlov D.V., Golovanov V.N., Klimov E.S., Grebchuk E.E., Efimov M.S., Kostishko B.B. Fabrication of multi-walled carbon nanotubes–aluminum matrix composite by powder metallurgy technique // Results in Physics. – 2016. – Vol. 6. – P. 231–232. (Scopus)

2. Бунаков Н.А., Козлов Д.В., Голованов В.Н. Исследование микроструктуры композиционного материала на основе алюминия с добавлением углеродных нанотрубок после искро-плазменного спекания // Журнал технической физики. – 2018. – Т. 88. – № 12. (ВАК/Web of Science)

3. Бунаков Н.А., Голованов В.Н., Козлов Д.В., Ефимов М.С., Белобров И.С., Адамович А.А. Исследование взаимосвязи микроструктуры и механических свойств композиционного материала «Алюминий-Многостенные углеродные нанотрубки», полученного искро-плазменным спеканием // Инженерная физика. – 2020. – № 4. – С. 26–38. (ВАК)

4. Бунаков Н.А., Козлов Д.В., Голованов В.Н., Климов Е.С., Ефимов М.С. Композиционный материал на основе алюминия с добавлением многостенных углеродных нанотрубок: получение, структура, свойства // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. – 2016. – № 2 (38). – С. 134–146. (ВАК)

5. Климов Е.С., М.В. Бузаева М.В., Давыдова О.А., Ваганова Е.С., Макарова И.А., Бунаков Н.А., Козлов Д.В. Разработка методик введения дисперсий многостенных углеродных нанотрубок в полимерную и металлическую матрицы // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2018. – Т. 20. – № 4 (3). (ВАК)

6. Бунаков Н. А., Козлов Д. В., Голованов В. Н., Ефимов М. С., Белобров И. С., Адамович А. А., Сугак Д. Е. Микроструктурные особенности композиционного материала «Алюминий-Многостенные углеродные нанотрубки» после искро-плазменного спекания // Известия высших учебных заведений.

Поволжский регион. Физико-математические науки. – 2019. – № 3 (51). – С. 120–131. (ВАК)

7. Климов Е.С., Бузаева М.В., Давыдова О.А., Макарова И.А., Светухин В.В., Козлов Д.В., Пчелинцева Е.С., Бунаков Н.А. Некоторые аспекты синтеза многостенных углеродных нанотрубок химическим осаждением из паровой фазы и характеристики полученного материала // Журнал прикладной химии. – 2014. – Т. 87. – № 8. – С. 1128–1132. (Web of Science)

8. Климов Е.С., Давыдова О.А., Бузаева М.В., Макарова И.А., Козлов Д.В., Бунаков Н.А., Нищев К.Н., Панов А.А., Пынинков А.А. Изменение поверхности и некоторых технологических свойств углеродных нанотрубок при их модифицировании // Башкирский химический журнал. – 2014. – Т. 21. – № 3. – С. 109–113. (ВАК)

9. Климов Е.С., Макарова И.А., Бузаева М.В., Давыдова О.А., Ваганова Е.С., Исаев А.В., Козлов Д.В., Бунаков Н.А. Дисперсные системы с многостенными углеродными нанотрубками // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». – 2018. – Т. 10. – № 2. – С. 5–14. (ВАК)

На диссертацию и автореферат поступили положительные отзывы от:

1. Амосова А.П., доктора физико-математических наук, профессора, заведующего кафедрой «Металловедение, порошковая металлургия, наноматериалы» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», г. Самара. В отзыве отмечены следующие замечания:

- Средний размер фрагментов оксида алюминия на границах зерен играет значительную роль и на рис. 4 автореферата представлены результаты расчета характерного размера фрагментов Al_2O_3 в зависимости от концентрации МУНТ, но не представлены такие результаты для функционализированных МУНТ, то есть ФМУНТ, которые более важны для результатов работы.

- При моделировании ИПС в микромасштабе (раздел 2 главы 5) получено, что нагрев частиц алюминия вблизи МУНТ (в том числе и процесс разрушения оксидного слоя) за счёт электрического тока будет проходить менее эффективно, что приводит к худшему спеканию частиц металла. Отсюда следует, что введение МУНТ в алюминий играет отрицательную роль? Почему не промоделировано введение ФМУНТ? Как бы это изменило результаты моделирования?

- В четвертой главе представлены результаты моделирования упрочнения алюмокомпозита фрагментами частиц Al_2O_3 по механизму Холла-Петча с учетом зинеровских сил в зависимости от размера фрагментов частиц Al_2O_3 . Однако при этом не учтено упрочнение по механизму Орована в зависимости от расстояния между частицами фрагментов Al_2O_3 и по механизмам несоответствия коэффициентов термического расширения и модулей упругости Al_2O_3 и алюминиевой матрицы. Известно, что указанные механизмы Орована и несоответствия играют определяющую роль в упрочнении металлических матриц наночастицами.

- При моделировании упрочнения алюмокомпозита в четвертой главе не учитывалось образование частиц карбида алюминия при введении МУНТ. Сложилось впечатление, что у автора диссертации отрицательное отношение к образованию частиц карбида алюминия. Но ведь частицы карбида алюминия могут играть и положительную роль в упрочнении алюминия, достаточно вспомнить известные промышленно выпускаемые дисперсно-упрочненные сплавы Al- Al_4C_3 с содержанием частиц Al_4C_3 до 22 %.

2. Калыгина В.В., доктора технических наук, профессора, главного научного сотрудника АО «Государственный научный центр – Научно-исследовательский институт атомных реакторов», г. Димитровград. В отзыве отмечено, что «Работа выиграла бы, если бы было проведено сравнение микроструктур и физико-механических свойств материалов, полученных методом искро-плазменного спекания и с использованием других технологических процессов».

3. Колесникова А.Н., кандидата технических наук, доцента кафедры «Ядерные реакторы и материалы», Димитровградский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Димитровград. В отзыве указаны следующие замечания:

- В работе не акцентировано, какие именно свойства композиционного материала предполагается модифицировать? Исходя из этого, недостаточно аргументирован выбор механических испытаний на растяжение (как разновидность – микротвердость по Виккерсу) как метода оценки достигнутого результата, а, имея в виду, что в авиационной, автомобильной, электротехни-

ческой, атомной отраслях (как анонсировано в работе) материалы работают преимущественно при напряжениях, ниже предела текучести, достигнутый результат в 10% не выглядит впечатляющим.

- Предложена микро-масштабная модель спекания в однофракционном приближении, между тем, полидисперсный состав ПАД-6 требует использования по меньшей мере трехфракционного приближения.

- Имеются элементы небрежного оформления: грамматические ошибки, дублирующие надписи (например, в табл. 3), неверное обозначение температуры (надо, например, 600 °С), в табл. 4 не приведено значение параметра d_p .

4. Новикова Д.А., кандидата технических наук, генерального директора ООО «ХитЛаб», г. Ульяновск. В отзыве отмечено, что «Хотелось бы подробного сравнения микроструктур и физико-механических свойств между материалами, полученными в данной работе искро-плазменным методом спекания с материалами, полученными с использованием других методов спекания (обычное спекания, горячее прессование и др.)».

5. Михайлова Г.Г., доктора технических наук, профессора кафедры «Материаловедения и физико-химия материалов», ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)», г. Челябинск. В отзыве отмечено, что «В автореферате было бы хорошо уделить большее внимание использованию алюмокомпозита в научной или производственной деятельности, что несомненно сделано в тексте диссертации».

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их широкой известностью своими достижениями в области физики конденсированного состояния, наличием публикаций в соответствующей сфере исследования и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- установлено, что плотность композита, близкая к теоретической, достигается при равномерном распределении в алюминиевой матрице многостенных углеродных нанотрубок, прошедших обработку (функционализацию), с последующим искро-плазменным спеканием при температуре 600 °С, временем выдержки 20 мин при давлении 50 МПа;

- установлено, что с ростом концентрации многостенных углеродных нанотрубок от 0 до 1 масс.% наблюдается увеличение среднего размера фрагментов разрушенного оксидного слоя (при постоянных температуре и времени) от 30 до 100 нм на границах зерен алюминиевой матрицы. С увеличением времени спекания при постоянной температуре наблюдается перемещение его фрагментов в тело зерна;

- показано, что многостенные углеродные нанотрубки преимущественно располагаются по границам зерен алюминиевой матрицы с образованием межфазных локальных пор, средний размер которых уменьшается от 50 до 3 нм по мере уменьшения концентрации нанотрубок. Установлено, что функционализированные многостенные углеродные нанотрубки, испытавшие взаимодействие с алюминиевой матрицей в жидкой фазе в процессе спекания, сохраняют свою структуру и имеют плотный межфазный контакт с матрицей, в отличие от исходных многостенных углеродных нанотрубок, которые претерпевают деструкцию;

- апробирована физическая модель процесса искро-плазменного спекания, которая позволяет прогнозировать стабильность оксидной пленки при введении многостенных углеродных нанотрубок в матрицу композита;

- показано, что при введении в алюминиевую матрицу функционализированных многостенных углеродных нанотрубок в интервале концентраций от 0 до 1 масс.% наибольшее упрочнение композита достигается при содержании 0,1 масс.%;

- экспериментально установлено, что на прочностные свойства композитов преимущественно влияют: степень агломерирования многостенных углеродных нанотрубок и средний размер фрагментов оксида алюминия на границах зерен. Результаты корректно описываются предложенной зависимостью, разработанной на основе моделей Холла-Петча и Халпин-Цая.

Теоретическая значимость исследования обоснована следующим:

- установлено, что степень разрушения оксидной пленки на границах зерен алюминиевой матрицы зависит от концентрации многостенных углеродных нанотрубок;

- получены основные распределения термоэлектрических характеристик в образце при спекании в зависимости от технологических параметров установки искро-плазменного спекания;

- установлены зависимости локального изменения плотности тока и тепловыделения в матрице при введении в образец отдельных многостенных углеродных нанотрубок и их агломераций;

- установлена зависимость изменения прочностных характеристик композитов от концентрации многостенных углеродных нанотрубок, построенная на базе моделей Холла-Петча и Халпин-Цая.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- экспериментально отработаны основные элементы технологии получения алюмоматричного композиционного материала с многостенными углеродными нанотрубками, в ходе которой установлены условия равномерного введения в матрицу упрочнителя с сохранением его структуры, и определены оптимальные режимы спекания. Данные результаты могут служить основой для дальнейшей разработки технологического процесса получения промышленных изделий с заданными свойствами из композиционных материалов с углеродными наноструктурами;

- показано, что физическая модель технологического процесса спекания дает возможность оценить результаты спекания композитных материалов методом искро-плазменного спекания и сократить количество экспериментов при разработке и поиске оптимального состава и структурного состояния композита;

- показано, что при оптимальной концентрации 0,1 масс. % функционализированных многостенных углеродных нанотрубок достигнуто повышение микротвердости композитана 20 %, предела прочности и условного предела текучести на 36 % и 11 % соответственно, с сохранением пластичности на уровне 30 %.

Результаты диссертационной работы используются ООО «ХитЛаб» при разработке металломатричных композиционных материалов и АНО «Центр развития ядерного инновационного кластера города Димитровграда Ульяновской области» в области искро-плазменного спекания материалов на основе металлов в виде физической модели установки искро-плазменного спекания, что подтверждается справками о внедрении результатов диссертационного исследования. Результаты могут использоваться предприятиями аналогичного профиля.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

– достоверность представленных данных определяется применением комплекса современных методов исследования, использованием сертифицированного оборудования и воспроизводимостью результатов измерений. Результаты работ опубликованы в высокорейтинговых научных журналах, апробированы на научных конференциях и находятся в согласии с данными исследований, полученными другими научными группами.

Личный вклад соискателя состоит в формулировании цели, задач и выводов диссертационной работы совместно с научным руководителем и соавторами основных публикаций, а также в проведении экспериментальных исследований, моделировании, систематизации и анализе результатов.

Диссертация Бунакова Н.А. является самостоятельно выполненной научно-квалификационной работой, в которой решена задача по расширению теоретических и экспериментальных подходов к освоению технологии получения алюмоматричных композитов с многостенными углеродными нанотрубками. Результаты исследования имеют важное значение для материаловедения и могут найти применение в разработке металломатричных композиционных материалов с углеродными наноструктурами.

Представленная диссертационная работа «Особенности микроструктуры и физико-механических свойств композиционного материала на основе алюминия с углеродными нанотрубками, полученного с использованием искроплазменного спекания» соответствует критериям, которым должны отвечать диссертации на соискание ученых степеней, изложенным в п. 9, 10, 11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г., № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям (в ред. от 01.10.2018 г. № 1168, с изм. от 26.05.2020), а её автор Бунаков Никита Андреевич заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния».

На заседании 11 декабря 2020 г. диссертационный совет принял решение присудить Бунакову Никите Андреевичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении открытого голосования диссертационный совет в количестве 22 человека, из них 5 докторов наук по специальности 01.04.07 – «Фи-

зика конденсированного состояния» (технические науки), участвовавших в заседании, из 30 человек, входящих в состав совета, (дополнительно введенных на защиту не было), проголосовали: за - 22, против - нет.

Председатель

диссертационного совета

Гурин Нектарий Тимофеевич

Ученый секретарь

диссертационного совета

Вострецова Любовь Николаевна

11.12.2020 г.

